3.5.3 テストフィールドによる商用ロボットの評価試験に基づくソフトウェアの提言とハードウェアの改良開発

神戸大学工学部情報知能工学科　田所　諭
神戸大学経済学部　徳田献一
神戸大学工学部情報知能工学科　田中琢磨
神戸大学工学部情報知能工学科　出納和也

(1) 目的

レスキューロボット等の研究開発における大きなボトルネックは，何が有効で何が有効でないかが明らかでなく，開発すべきロボットの仕様を定めることができないことが大きな問題点である．

そのため，本研究では，既存の情報収集ロボット等を評価することによって，仕様や問題点を明確化する．また，同じ理由に起因して，技術をどのように評価すればいいかが明確化されていない．テストフィールドの問題と併せて，本研究では評価項目，基準，テスト方法，評価データの処理，について明確化し，それによって今後の研究開発の基盤を形成する．

(2) 年次実施計画

研究計画としては，阪神淡路のがれき現場に対して，ニューヨーク WTC で使われたロボットなど，既存の商用の情報収集ロボット等の適用可能性に関する評価試験を行う．それによって，有効／有効でない場面の範囲，ハードウェアの問題点／限界／留意点／改良点（モビリティ，センシング，通信，ヒューマンインタフェース，自律機能，など），ソフトウェアの問題点／計画（人間の操縦技術，利用技術，訓練，他の方法との役割分担，配備法，防災／救助計画への導入法，など）を明らかにする（H14～16 年度）．それに基づき，ソフトウェアに関する提言（H15 年度），ハードウェアの改良開発（H15 年度～）を行う．

具体的には，これまでにいくつかの情報収集ロボット等の開発例があり，そのうちの一部は商用ロボット等として販売されている．ここでは，それらを購入し，テストする．その基礎資料として，ロボットの仕様・問題点については，研究代表者らを中心とする阪神淡路大震災におけるロボット等の適用可能性に関する調査研究[1,2]，Robin Murphy，John Blitch らによる米国オクラホマ政府ビル爆破事件，同時多発テロ・ニューヨーク世界貿易センタービル事件における調査研究がある[3,4]．これらを調査することによって，テストの計画を立てることが必要である．

本研究はきわめて具体的な，すぐさま実用になる研究成果を生み出すものであり，ここで調査研究されるロボット等は，実際に災害が起きた場合に調査出動することが技術的には可能でなければならないと考えている．ただし，実際に出動するためには，消防・警察・自衛隊等との連携行動が不可欠であり，そのための制度作りは重要な課題である．

(3) 平成１４年度の業務目的

本年度は，商用ロボットの調査と次年度以降に研究を進めるためのプラットフォームの準備を行うことを目的として研究を遂行した。

(4) 平成１４年度の成果要約

本研究では，商用として購入可能なロボットを活用することによって，地震災害の問題に対してどのように有効な解を出すことが出来るかを，テストフィールドなどを利用しながら，検討を行う．研究の後半では，それに基づきソフトウェア・ハードウェアの開発の提言と試作等を行う。本年度は，商用ロボットの調査と次年度以降に研究を進めるためのプラットフォームの準備を行った。

(5) 平成１４年度の実施方法

下記の項目について調査研究を行い、それに基づいて本研究目的に沿ったロボット等のプラットフォームの準備を行う。

(a) 阪神淡路大震災におけるロボットの適用可能性調査
(b) 世界貿易センタービルでの捜索・情報収集ロボットの調査
(c) 家庭用ロボットの調査
(d) ヒューマンインタフェースの調査

(6) 平成１４年度の成果

それぞれの研究項目について、下記の成果が得られた。

(a) 阪神淡路大震災におけるロボットの適用可能性調査

阪神淡路大震災において，レスキューロボットや関連する情報システムに関する多面的な調査研究が行われた[1,2]．その結果を整理した結果，このようなシステムには次のような能力が求められることがわかった．

1) 情報収集伝達能力（災害状況把握，人体検索など）
2) 災害軽減能力
    i) 人的軽減能力（人体確保，救急医療など）
    ii) 物的軽減能力（消火など）

より具体的な事項としては，次のことが挙げられた．

1) 災害環境に適合して運用可能であること．
2) 十分な可搬性，あるいは，モビリティを有すること．
3) 人間作業者との協調・共同を有効に行う機能を持つこと．
4) 人間の肉体的精神的活動を補助・補完する機能．
5) 平時から災害時に至るまで連続的に運用されること．
6) 大規模災害に対応するために，分散性を持つとともに，数量が用意されること．
7) さまざまな災害や被害の形態に対して，多様な解を提供すること．
8) 標準化によってインターオペラビリティを確保すること．
9) 標準化によってコスト低減をはかること．

10) 最新技術が継続的に維持できるような，スケーラビリティ，発展性，拡張容易性を持つこと．
11) 効果を最大化する運用システムを持つこと．

(b) 世界貿易センタービルでの捜索・情報収集ロボットの調査

2001 年 9 月 11 日 8:46AM に発生した米国同時多発テロ，ニューヨーク世界貿易センター事件では，２機の飛行機が燃料を満載したままツインタワーに突っ込み，2,841 名（2002 年 2 月 12 日現在の推計）にのぼる死者を出した．

この事件発生直後から，John Blitch (Center for Robot-Assisted Search and Rescue, USA), Robin Murphy (University of South Florida)らによる，ロボットによる人体検索，情報収集活動が行われた．現場に出動したのは，Foster-Miller (Arnie Mangolds), iRobot (Tom Frost), University of South Florida, SPAWAR (Bart Everett)の４つの団体であり，表１に示すロボットが使われた．これらはいずれもクローラタイプの遠隔操縦ロボットである．その結果，9 月 12 日から 10 月 2 日までに約 11 名の被災者が，いずれも死亡した状態で発見された[1,2].

表１ 米国同時多発テロニューヨーク世界貿易センタービル事件で使われたロボット

企業，大学，団体名	ロボットの名前	搭載されたセンサ
Foster-Miller	Solem	Video, Striper, Audio
	Talon	Video, Gripper
University of South Florida	Inuktun microTrac	Video, 2way audio
	Inuktun microVGTV	Video, 2way audio
	Inuktun pipe crawler	Video, 2way audio
iRobot	PackBot	Video, FLIR, 2way audio
SPAWAR	UrBot	

これらのロボットはいずれも情報収集を目的としたロボットであり，現場で収集された情報の種類は次の通りであった．
1) 生存者の有無，可能性の有無の判断材料
2) 被災者，生存者の位置，状態，その推定のための情報
3) 検索場所の優先付け，トリアージ
4) 救助者，作業者にとっての安全情報
5) 構造物の被害状況の情報（構造の崩壊，安定性，水漏れ，など）
6) がれき内の環境情報（温度，ガス，煤塵，床面状態，水の有無，がれきの散乱状態，など）

このように，人命に関するデータ収集のみならず，救助や災害対応活動の判断材料とするための多くのデータが収集された．

この活動を通じて，次のことが報告されている．

1) ロボットは人間や犬のセンシング能力，運動能力にははるかに劣るものの，人間が危険で入ることができない，あるいは危険が予測される場所での情報収集に有効である可能性が高い．
2) Search Cam（通称，棒カメ）と比較して，到達距離が長く，曲がりくねった狭窄箇所への進入が可能，搭載できるセンサの種類と自由度が多い，ということがロボットの利点である．
3) 自律機能やインテリジェント機能の適用は困難であった．
4) ロボットはあくまで人間のための道具であり，便利な道具としての性能が重要である．利用するためには訓練が不可欠であり，利用者に使われるための努力が必要である．
5) 消防など災害対応の専門家と，ロボット技術者・研究者との連携が重要である．また，災害対応組織やプログラムの中に組み込まれることが必要である．
6) ロボット自身の状態（位置，姿勢，方向，転倒，衝突，障害物に挟まっている，ひっかかっている，乗り上げている，スタック，スリップ，その他地面や周辺障害物との関係，機能障害，故障，など）を知るためのセンシングが重要である．世界貿易センタービルの場合には音響情報が役立った．
7) 現場での迅速なセットアップと修理が必要であった．
8) 通信の確保が無線では困難であり，有線が確実だった．
9) 有線ケーブルはロボットがスタックしたときに引き上げるためにも役だった．ただし，もつれ，からみ，ひっかかりが問題であった．
10) ロボットの外界のセンシングとしては，被災者認識，距離計測，環境マップ生成，通路・入口認識，環境情報，などが重要であった．
11) 多様なセンシング要求に応えるためには，多様なセンサが着脱式で用意されることが必要である．
12) 運動のためには，ロボットの大きさ，条件に合わせた可変性，が重要であった．
13) 終了後の洗浄とメンテナンスが問題であった．

ここで得られた知見は，２に述べた阪神淡路大震災におけるロボットの適用可能性の調査研究の結果と酷似していることが注目された．すなわち，この問題と地震災害の問題の共通性，および，地震災害においても同種のロボットが有効である可能性が高いということが明らかになった．そのため，ここで使われたロボットを大規模地震災害に対してどの程度有効であるか，有効でないかを検証することは非常に重要であるという結論に達した．具体的には，これらのロボットのうち容易に入手が可能な Inuktun microVGTV を研究対象として選定した．

図１　Inuktun MicroVGTV

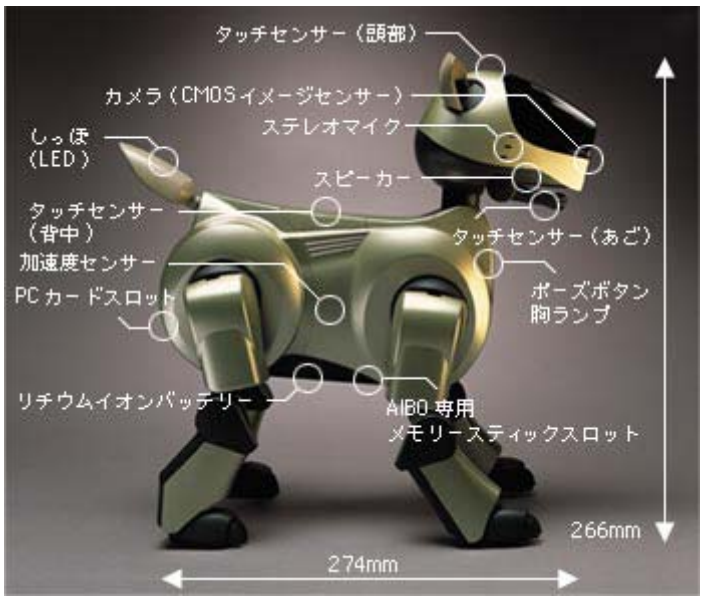

図２　AIBO ERS-210A

(c) 家庭用ロボット

前に述べた大規模地震災害で重要な点の 5), 6)を満足するためには，消防などの専門家のための特殊機材としてのロボットを研究開発するだけでは片手落ちである．なぜならば，各消防などに十分な数量のロボットを配備することは財政的に現実的とは言えないからである．

今後，家庭内に多くのロボット，あるいはそれに類した機器が導入されていくと考えられる．現在でもさまざまな家電品は家庭内にあふれており，それらはさまざまなセンシン

グ機能を持っている．これらがネットワークによって結合されて，分散センシングの役割を果たすことが出来れば，防災にとって非常に有効な情報収集手段であると考えられる．また，AIBO や掃除機ロボットなど，いわゆるロボットとして分類される機器もポピュラーになりつつあり，今後十年くらいの間に広く普及していくと予測される．これらのロボットは，センシングの機能に加えて，それを移動させる機能を少なくとも有し，さらには，災害時に能動的に情報収集をしたり，センサ情報をインテリジェントに処理して配信することが可能になると考えられる．

たとえば，番犬 AIBO は飼い主である老人を日頃から観察し，朝は 6 時に起きて仏壇に向かい，それから朝食の支度を始める，といった行動パターンを憶えておくことが可能である．また，直前に周囲に人がいたのかどうか，それが誰だったのか，といったことも憶えておくことができる．また，ロボットでなくとも，照明のスイッチに小さく安価な無線タグを利用すれば，スイッチの操作履歴や照明の ON/OFF の状態などをある程度の期間保持しておくことが可能である．発災時のそのような状況を，外部からの問い合わせに応じて倒壊家屋の中から無線で発信してくれれば，救助効率を大きく向上させることができる．阪神淡路大震災のケースでは，救助プロセスの中でもっとも時間を要したのは，被災者の発見であり，それに役立つ情報の重要性は論を待たない．これらの機能はすべてホームネットワークの分野で議論されつつある内容を，防災向きに練り直したものであり，現実的に今すぐにでも可能な方法論である．また，逆に，防災にとって何が必要かを明らかにして，ホームネットワークなどの整備計画・商品計画などに載せていくことが求められていると考える．

プログラミングが可能な AIBO（ソニー製）の仕様は表 2 の通りである．

表 2　AIBO ERS-210A 仕様

構成	胴体、頭部、脚部 x4、尻尾（着脱可能）
外部記憶& プログラム供給媒体	AIBO 専用"メモリースティック"
可動部	口：1 自由度 頭：3 自由度 脚部：3 自由度 x4 脚 耳：1 自由度 x2 尻尾：2 自由度 計 20 自由度
入出力部	PC カードタイプ・スロット入出力部 "メモリースティック"スロット入出力部 充電端子入力部
画像入力	10 万画素 CMOS イメージセンサー
音声入力	ステレオマイクロホン
音声出力	スピーカー
内蔵センサー	温度センサー 赤外線方式測距センサー 加速度センサー 感圧センサー、スイッチ[頭部(頭、あご)、背中、脚部］ 振動センサー

時計内蔵	日付、時間表示
消費電力	約 9W（標準モード時）
動作時間	約 1.5 時間（満充電時の ERA-201B1 を使用時、標準モード時）
充電時間	約 2 時間（付属の AC アダプターとリチウムイオンバッテリー「ERA-201B1」を本体内で充電した場合）
外形寸法	約 152 x 281 x 250mm（耳、尾部含まず）（幅/高さ/奥行き）
重量	約 1.5kg（バッテリー・"メモリースティック"含む）
色	ゴールド/シルバー/ブラック
主な付属品	AC アダプター、専用リチウムイオンバッテリーパック（1 個)、AC アダプター変換プラグ、取扱説明書、ボール、リリースピン、その他
動作温度	5℃～35℃
動作湿度	10%～80%

これはそのままでテストすることは不可能であり，研究開発が必要であるものの，これからの商用ロボットの活用にとって重要であると考えられる．したがって，本研究では AIBO を重要な商用ロボットと考え，今後研究を進めていくこととした．

(d) ヒューマンインタフェース

ロボットを操縦し，ロボットから収集された情報を人間に提示することは非常に重要である．商用のヒューマンインタフェースとして利用可能なシステムは数多く存在し，これらの評価を行うことは重要である．

ウェアラブルコンピュータはそれらの中でも，ポータビリティの点で非常に有用であると考えられる候補である．PDA も能力によってはウェアラブルコンピュータの一種であると考えられる．これまで，さまざまな形でのウェアラブルコンピュータ，PDA のロボット操縦に対する適用がなされてきた．

ウェアラブルコンピュータの中で代表的なものは，ザイブナー社の製品である．これは，PC と完全に互換性を有しており，ソフトウェアの開発が容易であるという特徴を持つ．日立の WIA は安価に入手できる製品である．これは，Windows CE に限定されるため，外部に容易に接続できるデバイスが限定されることが問題である．IBM の試作品も存在するが入手が困難であり，本研究のテストには利用できない．Palm は PDA の代表的な機種であるが，外部に接続できる機器がきわめて限定され，もともと備わっているヒューマンインタフェースではオペレーションに適しているとはどうしても考えられない．

以上から，ザイブナー社のウェアラブルコンピュータをヒューマンインタフェースとして採用し，テストを行うこととした．その仕様は下記の通りである。

表３　ザイブナーMobile Assistant V-MA Ｖの仕様

Processor	500 MHz Intel® Mobile Celeron®,1.1 V, Ultra Low Voltage
Memory and Storage	256 MB SDRAM, 5 GB internal HDD, externally expandable to 40 GB 1 GB removable HDD through the use of a 1 GB Compact Flash card
Ports	Compact Flash, USB, FireWire® (IEEE1394), DC-IN jack, User Interface Port (sup-ports LVDS and GVIF), PDP (Power Docking Port) or connection to the MA V Holster, Power button, Hibernate switch
Audio/Video	Video memory 8 MB SDRAM, Built-in sound card, full-duplex, stereo I/O, Integrated Digital, Signal Processor (DSP); Texas Instruments TMS320C5416 ™
CPU Chassis	Durable magnesium alloy case 15 cm x 9 cm x 5 cm, Approx.455 g Worn with belt, vest, suspenders, shoulder pack or backpack Optional protective pouch
Holster	CPU Module connects to the optional holster or extended connectivity and operation, 1 Type II or III PCMCIA card slot, USB, FireWire (IEEE1394), VGA and Power Docking port, Holster doubles as desktop docking station
Xyber Panel Digital Flat Panel Disaply	16.3 cm viewable,all-light readable display,640 x 480 color VGA 21.3 cm viewable all-light readable display, 800 x 600 color SVGA Brightness control, up to 500 cd/m2 Onscreen keyboard and built-in handwriting recognition Activation: voice, passive stylus, or touch-screen Optional zippered protective pouch or flip-down carrying case
XyberView Head Mounted Displays	VGA,SVGA color direct view display Monocular or binocular view, Transmissive or occluded viewing, Left or right-side wearable Integrated micro-phone and earpiece speaker or voice activation and voice communications, Hardhat models available
Battery	Primary and Secondary Lithium-ion batteries, Hot-swappable, AC power adapter/ battery charger with protective circuitry
XyberKey Wrist-worn Mini-Keyboard	60-key,wrist-mounted, ruggedized QWERTY keyboard
Software	Windows 2000, Windows 98, Windows XP or Linux, CIC JOT Handwriting Recognition (with FPD), On-Screen Keyboard Software (with FPD) Other drivers appropriate with peripheral devices purchased from Xybernaut

図３　ザイブナー　Mobile Assistant V-MA V

(7) 平成１４年度の結論

本年度は，商用ロボットに関する調査および機種の選定を行い，テストを開始するための準備を行った．その結果，所期の業務目的が達成された．

別の研究テーマによって，神戸および川崎のテストフィールドが開発されており，今後はそれを活用しながら，前に述べた計画に従って，テストを進めていく予定である．

(8) 平成１４年度の成果発表等

本年度は準備の年であり，成果発表は行っていない．

(9) 平成１５年度計画案（参考）

平成１５年度は，平成１４年度に導入した商用ロボットを活用して，神戸フィールドをはじめとするテストフィールドの中で，有効／有効でない場面の範囲，ハードウェアの問題点／限界／留意点／改良点（モビリティ，センシング，通信，ヒューマンインタフェース，自律機能，など），ソフトウェアの問題点／計画（人間の操縦技術，利用技術，訓練，他の方法との役割分担，配備法，防災／救助計画への導入法，など）を明らかにする実験を行う．それに基づき，ソフトウェアに関する提言をまとめるとともに，改良開発を行う．

(10) 参考文献

[1] Satoshi Tadokoro, Toshi Takamori, Saburo Tsurutani, Koichi Osuka, On robotic rescue facilities for disastrous earthquakes -- from the Great Hanshin-Awaji (Kobe) Earthquake --, J. Robotics and Mechatronics, Vol. 9, No. 1, pp. 46-56, 1997.
[2] 高森年，田所諭，鶴谷三郎，大須賀公一他，レスキューロボット機器研究会報告書、日本機械学会ロボティクスメカトロニクス部門, 1997
[3] Jennifer Casper, Human-robot interactions during the robot-assisted urban search and rescue response at the World Trade Center, MS Thesis, Computer Science and Engineering, University of South Florida, 2002.

[4] Robin Murphy, John Blitch, Jennifer Casper, AAAI/RoboCup-2001 urban search and rescue events: reality and competition, AI Magazine, Vol. 23, No. 1, pp. 37-42, 2002.